



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Análisis de la Ventilación Natural Mediante un Módulo Experimental de Fachada Ventilada Opaca

Peci López, Fernando; Ruiz de Adana, Santiago; Jensen, Rasmus Lund; Heiselberg, Per

Published in:
Libro de Actas

Publication date:
2011

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Peci López, F., Ruiz de Adana, S., Jensen, R. L., & Heiselberg, P. (2011). Análisis de la Ventilación Natural Mediante un Módulo Experimental de Fachada Ventilada Opaca. In *Libro de Actas: VII Congreso Nacional de Ingeniería Termodinámica. Energía Sostenible Frente al Cambio Climático*

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

ANÁLISIS DE LA VENTILACIÓN NATURAL MEDIANTE UN MÓDULO EXPERIMENTAL DE FACHADA VENTILADA OPACA

PECI LÓPEZ, Fernando ⁽¹⁾; RUIZ DE ADANA, Santiago ⁽¹⁾

JENSEN, Rasmus Lund ⁽²⁾; HEISELBERG, Per ⁽³⁾

fernando.peci@uco.es

⁽¹⁾Universidad de Córdoba, Escuela Politécnica Superior, Departamento de Química-Física y Termodinámica Aplicada

⁽²⁾University of Aalborg (Dinamarca), Hybrid Ventilation Center, Department of Civil Engineering

RESUMEN

Una fachada ventilada opaca (FVO) utiliza la energía solar para proporcionar ventilación natural y calefacción durante las estaciones frías, y evita el sobrecalentamiento en las cálidas. La estructura de una FVO es muy simple y utiliza un sencillo sistema de control de apertura y cierre de compuertas. En este trabajo se estudió un módulo experimental de FVO. El módulo consistía en una capa externa de acero galvanizado, una cámara de aire y la fachada de un edificio real como capa interior. Se obtuvieron medidas de caudal de aire, así como diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de la FVO. Simultáneamente se midieron variables meteorológicas como la radiación solar, velocidad del viento o la temperatura exterior. Se relacionó la radiación solar y la velocidad del viento con la energía transmitida al aire de ventilación mediante el proceso de calentamiento del aire en la FVO. Estos resultados permitieron evaluar el calor transmitido al aire de ventilación mediante la FVO. Los resultados pueden ser útiles para el análisis de la viabilidad del uso de este tipo de elementos de fachada para el precalentamiento del aire de ventilación, contribuyendo a la reducción de la demanda de energía del sistema de ventilación y climatización del edificio, especialmente en invierno.

Palabras clave: Fachada ventilada. Ventilación Natural.

1. Introducción

El objetivo de la ventilación en un edificio es mantener un ambiente interior saludable y confortable para sus ocupantes [1]. Actualmente, debido a la necesidad de aumentar la eficiencia energética de los edificios y reducir las emisiones de CO₂, son necesarios nuevos sistemas que cumplan con los requisitos de renovación de aire en los locales sin penalizar el consumo de energía del edificio. Tradicionalmente se ha usado la ventilación natural para renovar el aire interior de los locales. La ventilación natural utiliza la distribución de presiones en la envolvente del edificio creada por el viento y la diferencia de temperaturas entre el aire interior y el exterior para generar corrientes de aire a través de ventanas y otros huecos existentes en la fachada.

Una forma de mejorar la ventilación natural es a través del uso de fachadas ventiladas. Una fachada ventilada es una fachada de doble piel que permite el paso de una corriente de aire por su interior. La corriente puede ser generada natural o artificialmente. Esta corriente de aire es calentada debido a la absorción de la radiación solar que se produce en alguna de sus capas. En fachadas ventiladas totalmente transparentes, la radiación se absorbe en los elementos de sombra que se colocan entre la capa exterior e interior, como persianas o lamas. En fachadas ventiladas opacas (FVO) la absorción de energía solar se produce en la capa exterior.

La imagen moderna y atractiva de las fachadas de cristal ha propiciado su difusión y cada vez hay más edificios que hacen uso de ellas. El uso de fachadas ventiladas pretende corregir los problemas de sobrecalentamiento que presentan las fachadas de cristal convencionales. En [3] se estudian las estrategias para una óptima utilización de una fachada ventilada transparente. El mal uso de estos sistemas puede agravar, en lugar de disminuir los riesgos de las fachadas de cristal. Con el objetivo de predecir el comportamiento de las fachadas ventiladas transparentes se han creado modelos numéricos que permiten su simulación en diferentes condiciones climáticas. En [6] se presenta un método combinado con tres tipos de modelos (CFD, óptico y zonal) para su utilización como herramienta de diseño.

Sin embargo, las fachadas transparentes presentan inconvenientes en climas cálidos, y su alto coste es un grave inconveniente para su uso [4]. Las FVO's utilizan materiales de construcción convencionales, con lo que el coste se reduce, y son más aptas para su utilización en climas cálidos. Sin embargo, existen pocos estudios sobre FVO's en la literatura. En [9] se estudió el problema térmico y fluidodinámico de tres tipologías de fachada ventilada opaca con el objetivo de obtener criterios de selección de FVO's con ventilación forzada o convección natural. En [7] se investigaron dos modos de operación para una FVO conectada con una habitación en un edificio de varios pisos. En este estudio se muestra cómo se pueden variar los parámetros de la FVO para optimizar su comportamiento.

La utilización de modelos es una herramienta útil para la etapa de diseño de una fachada. Sin embargo la predicción del comportamiento de una fachada ventilada en condiciones meteorológicas reales es un problema complejo. En fachadas ventiladas transparentes se han realizado varios estudios en los que se monitorizan edificios reales para observar su comportamiento y evaluar su rendimiento energético. En [5] se evaluó el impacto de una fachada en el ahorro de energía de calefacción en un edificio de nueva construcción. Se determinó que la introducción del aire precalentado en la fachada como aire de ventilación redujo el consumo de energía de calefacción del edificio. Un estudio más amplio fue realizado en [8]. En este estudio se monitorizaron tres edificios por un período de un año. Los resultados indicaron que el uso de fachadas ventiladas para ventilación natural en edificios altos es posible, aunque con algunos inconvenientes.

En el presente estudio se evaluó la capacidad de una FVO para proporcionar aire de ventilación a un local mediante ventilación natural debida al viento y a la diferencia de temperaturas. También se evaluó el calentamiento del aire de ventilación a su paso por la FVO. Para ello se instaló un módulo experimental de fachada ventilada y se monitorizaron las variables necesarias para su estudio. Los resultados permitirán estimar el grado de aprovechamiento de la energía solar y la capacidad de proporcionar la ventilación requerida por normativa de una FVO.

2. Metodología

Se construyó un módulo experimental de FVO y se colocó adosado a la fachada de un edificio existente. En la Figura 1 se muestra la ubicación de la fachada ventilada en el edificio de laboratorios del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Aalborg (Dinamarca). La orientación de la fachada era de 126° W.

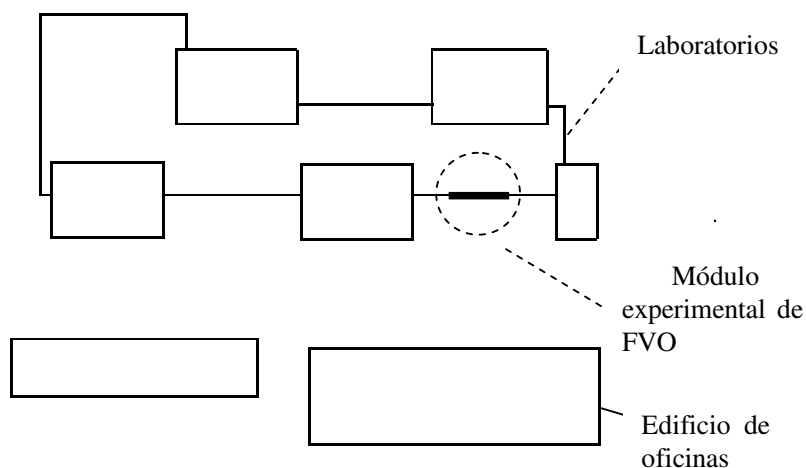


Figura 1. Esquema en planta de la ubicación del módulo experimental de FVO dentro del entorno urbano circundante.

El módulo estaba formado por tres capas: un panel de madera, una cámara de aire y un panel de acero galvanizado. Los espesores y las propiedades térmicas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades térmicas de los materiales empleados en el módulo experimental de FVO.

Capa	Material	Espesor (m)	Conductividad Térmica (W/m K)
Exterior	Acero galvanizado	0,001	18
Cámara de aire		0,05	
Interior	Madera	0,02	0,13

El cierre lateral de la cámara de aire se realizó con planchas de poliestireno expandido. El módulo tenía una abertura de entrada en la parte baja de la capa exterior y una abertura de salida hacia el local en la parte superior del panel interior de madera. En la Figura 2 se muestran los detalles constructivos del módulo.

El panel de madera se adosó al muro exterior de la fachada del edificio de laboratorios utilizando aislamiento de lana de roca. De esta forma, la fachada del edificio actuó como capa aislante del módulo de FVO. El panel de madera se utilizó para facilitar la colocación de sensores. El módulo cubría parte de la fachada y una de las ventanas del laboratorio. El hueco de la ventana se aprovechó

para conectar el conducto de ventilación de la fachada y para el paso del cableado de los sensores. Posteriormente se tapó para evitar fugas. El edificio de laboratorios era un edificio de una planta con naves para talleres adosadas al cuerpo principal. El edificio estaba rodeado de otros edificios similares, viales y jardines.

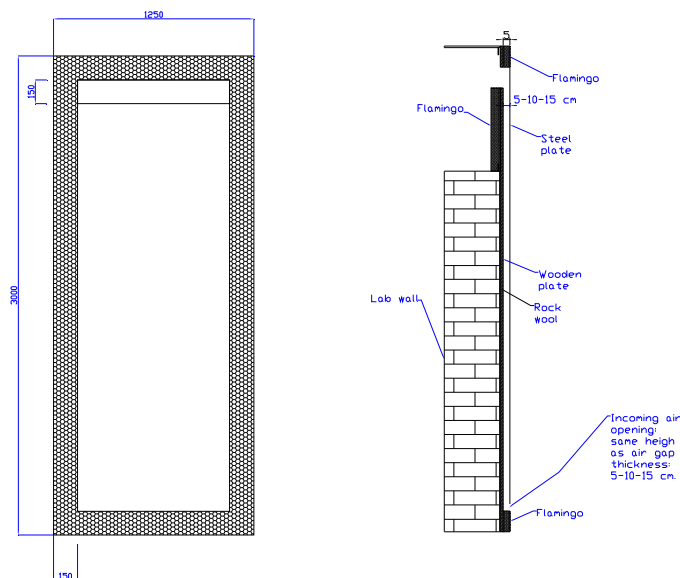


Figura 2. Esquema constructivo del módulo experimental de FVO.

Se monitorizaron las temperaturas superficiales de la capa interior de madera y de la chapa metálica exterior mediante termopares colocados a varias alturas. Se colocaron sensores para la medida de la temperatura del aire dentro de la cámara con termopares apantallados contra la radiación con tubos metálicos plateados. La distribución de los sensores se muestra en la Figura 3. Para la estimación de los coeficientes convectivos se utilizaron termopilas en la capa interior y en la exterior. El caudal de aire de ventilación se midió con una placa-orificio de 10 cm de diámetro conectada a la salida de la cámara de aire mediante una tolva.

Para la realización de los balances de energía entre el interior y el exterior de la FVO se monitorizaron la temperatura interior del local y la temperatura del aire exterior mediante termopares, y la radiación solar global incidente en la fachada mediante un piranómetro modelo CM11 colocado en la vertical paralelo a la fachada.

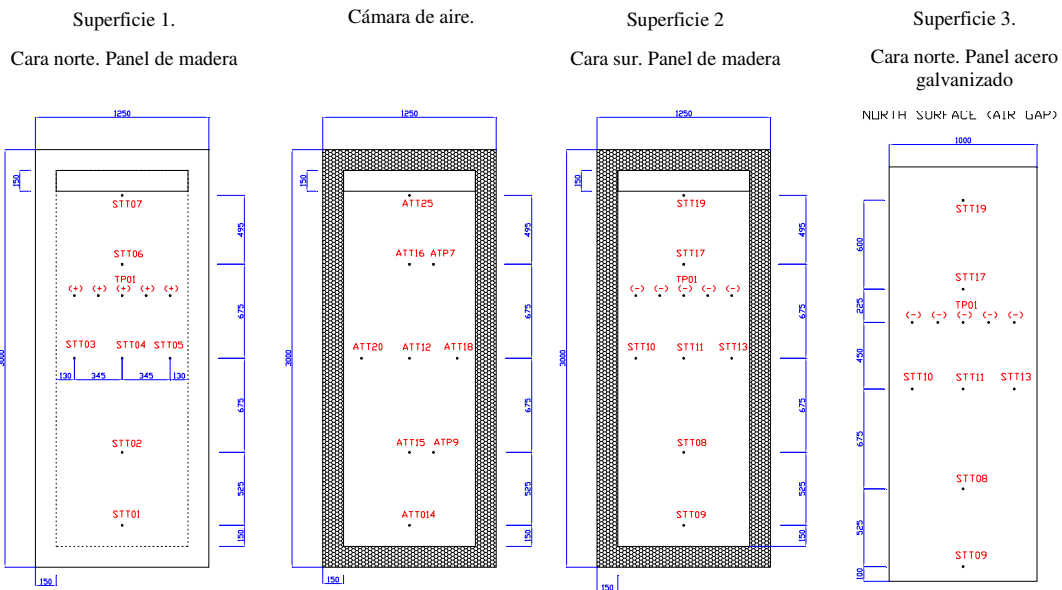


Figura 3. Esquema de localización de sensores de temperatura en el módulo experimental de FVO.

La campaña de medición se desarrolló durante diecisiete días en el mes de junio de 2010. Las medidas fueron tomadas en intervalos de 10 s y almacenadas para su procesamiento posterior. Los resultados obtenidos se filtraron para representar los valores promedio correspondientes a intervalos de 10 min.

3. Resultados y análisis

En la Figura 4 se muestran cuatro ejemplos de perfiles verticales de temperatura en el módulo experimental de FVO para diferentes días. Se tomaron los valores del intervalo de radiación máxima de cada día. Se representan los perfiles para las temperaturas superficiales de las capas interior y exterior, y el perfil de temperatura del aire en la cámara intermedia. Se muestran días representativos de diferentes condiciones de radiación y caudal.

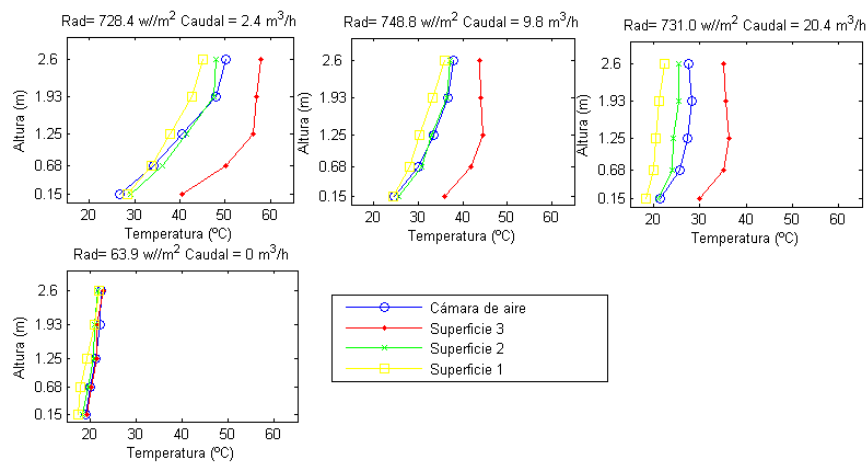


Figura 4. Perfiles verticales de temperaturas en el módulo experimental de FVO.

Se observa que para los días soleados, con una radiación punta superior a los 700 W/m^2 , la temperatura de la chapa exterior presenta temperaturas elevadas, por encima de los 40°C , mientras que en los días nublados, con valores de radiación menores que 100 W/m^2 las temperaturas se mantienen próximas a la temperatura exterior (que corresponde con la temperatura del aire de entrada a la cámara a 0,15m). Cuando la radiación solar es elevada, la chapa calienta el aire del interior de la fachada, que va aumentando su temperatura con la altura. Al reducirse la diferencia de temperatura entre la chapa y el aire la transferencia de calor por convección hacia el aire disminuye, aumentando la temperatura de la chapa. Se aprecia que cuando el caudal de ventilación natural aumenta, todas las temperaturas disminuyen. El aumento del caudal de ventilación está asociado a velocidades del viento altas, por tanto la disminución de temperaturas se debe tanto a la convección hacia el interior de la cámara como a la convección al ambiente exterior.

En [5] se midieron variaciones similares de la temperatura del aire en el interior de la cámara de una fachada ventilada transparente para un día soleado y otro nublado.

En la Figura 5 se muestra el balance de energía diario para la capa exterior del módulo de FVO. Los términos del balance se han representado como porcentaje de la irradiación global absorbida por la capa exterior para los 17 días de mediciones. En la irradiación global absorbida por la capa exterior se incluye la irradiación solar y el intercambio radiante con el entorno. La energía irradiada sobre la fachada se transfiere por convección hacia el aire exterior e interior, y por radiación en el intercambio radiante entre las superficies del interior de la cámara.

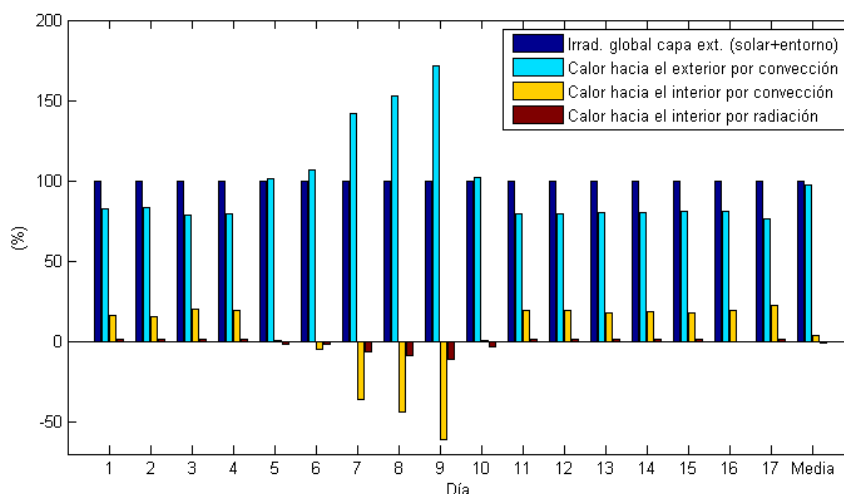


Figura 5. Balance de energía en la capa externa del módulo de FVO para los 17 días monitorizados en porcentaje sobre la irradiación global absorbida por la capa exterior (Irradiación solar + Intercambio radiante con el entorno).

Se aprecia que la mayoría de la radiación absorbida por la capa externa de la fachada se transfiere al aire exterior por convección ya que el coeficiente convectivo y la diferencia de temperatura entre la superficie de la chapa y el aire exterior son mayores para este caso. Para el período estudiado, el valor medio del flujo de calor por convección al exterior supone más del 90% de la radiación recibida por la fachada desde el exterior. El bajo porcentaje del intercambio radiante con las superficies es debido a la baja emisividad del material de la capa exterior. En los días nublados el intercambio radiante es hacia el exterior, debido a la mayor emisividad de la superficie del panel de madera. Cuando los días son soleados parte del calor se transfiere al aire interior de la fachada y pasa al interior del edificio, bien directamente con el caudal de aire de ventilación, o bien por conducción a través del muro. Cuando los días son nublados, la irradiación no es suficiente para calentar la capa externa de la fachada y la transferencia de calor por convección se invierte. En este caso el edificio está transfiriendo calor hacia el exterior. Esta pérdida de calor es relativamente baja, ya que como se ve en la Figura 4 la diferencia de temperatura entre la chapa y el aire exterior es pequeña.

Los resultados presentados en [2] coinciden con lo expuesto en este estudio. Para los días soleados se obtuvo que la transferencia de calor a través de la fachada fue positiva independientemente del caudal de aire que circulaba por el interior de la cámara. Para días nublados el flujo de calor a través de la fachada fue siempre negativo.

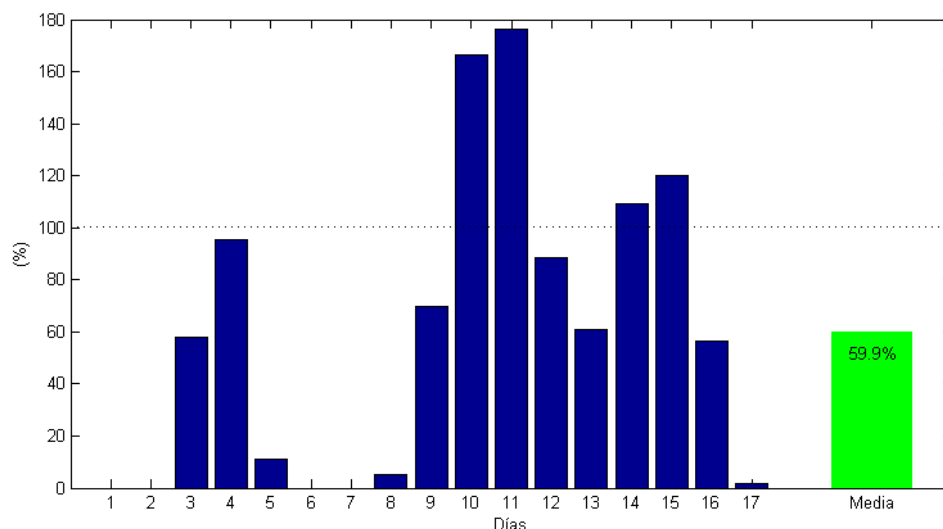


Figura 6. Porcentaje del caudal de ventilación requerido por normativa para los 17 días de mediciones.

El caudal volumétrico diario de aire de ventilación por unidad de superficie la FVO se muestra en la Figura 6. Se representa como porcentaje del caudal requerido en normativa por unidad de superficie de la fachada Según el CTE [10] para un local de 60 m² y 8 ocupantes, el caudal de ventilación requerido es de 76.4 m³/h.

El caudal volumétrico de ventilación medio diario por m² para los diecisiete días es del 59.9%. Se aprecia que existen días donde el caudal de aire introducido es superior a lo requerido y días en los que es inferior, o incluso despreciable. La ventilación natural en la fachada ventilada depende de la diferencia de temperaturas entre el aire interior y el exterior, y de la velocidad y dirección del viento. En los días soleados la inducción de corrientes de aire por flotación puede hacer que exista ventilación. Sin embargo, unas condiciones de viento desfavorables pueden hacer que esta ventilación no sea suficiente. Durante el período de mediciones se obtuvieron valores positivos en la mayoría de los días.

4. Conclusiones

Se han evaluado la capacidad de ventilación y el comportamiento térmico de una fachada ventilada opaca mediante el ensayo y monitorización de un módulo experimental de FVO en condiciones meteorológicas reales.

Se obtuvieron medidas de las temperaturas en las superficies de la FVO y en el interior de la cámara de aire. La temperatura de la capa exterior de la fachada se eleva en los días soleados, permitiendo la transferencia de calor hacia el aire interior. La transferencia de energía solar al aire de ventilación se produce cuando la fachada está sometida a radiación solar directa. Cuando los niveles de irradiación no son lo suficientemente altos y no se induce flujo de aire, la FVO se comporta como una fachada convencional.

Se hicieron balances de energía diarios para la capa externa de la fachada. En días soleados la mayor parte de la energía solar absorbida se transfiere al aire exterior. El porcentaje de energía que se transfiere al aire interior es bajo. Por tanto no existe un aprovechamiento eficiente de la energía solar

para calefacción. El porcentaje de calor transmitido al interior por convección es susceptible de ser mejorado mediante técnicas de mejora de la transferencia de calor por convección.

Se han obtenido los caudales volumétricos diarios de aire de ventilación natural en relación al caudal de ventilación requerido en normativa. Los valores fluctúan dependiendo de las condiciones meteorológicas, sobre todo de la velocidad y dirección del viento. En un balance medio se obtiene un valor superior al 50% del volumen requerido en un período de 17 días. Dado el bajo coste de este sistema, habría que estudiar si su instalación está justificada con el ahorro de energía que produce.

5. Agradecimientos

Este estudio se ha realizado dentro del proyecto I+D del Plan Nacional: "Integración de sistemas constructivos industrializables de fachadas ventiladas activas para el aseguramiento de un consumo energético eficiente y de la calidad de aire interior. Aplicación a edificios no residenciales.", Ref. BIA2006-15398-C04-04, del Ministerio de Educación y Ciencia.

6. Referencias

- [1] ASHRAE. Ventilation and Infiltration. In: (Ed.). **ASHRAE Handbook-Fundamentals**, 2005. cap. 27,
- [2] CORGRIATI, S. P.; PERINO, M.; SERRA, V. Experimental assessment of the performance of an active transparent facade during actual operating conditions. **Solar Energy**, v. 81, n. 8, p. 993-1013, 2007. ISSN 0038-092X..
- [3] GRATIA, E.; DE HERDE, A. Optimal operation of a south double-skin facade. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 1, p. 41-60, 2004. ISSN 0378-7788..
- [4] HOSEGGEN, R.; WACHENFELDT, B. J.; HANSSEN, S. O. Building simulation as an assisting tool in decision making - Case study: With or without a double-skin facade? **Energy and Buildings**, v. 40, n. 5, p. 821-827, 2008. ISSN 0378-7788..
- [5] KIM, Y. M. et al. Contribution of natural ventilation in a double skin envelope to heating load reduction in winter. **Building and Environment**, v. 44, n. 11, p. 2236-2244, Nov 2009. ISSN 0360-1323..
- [6] MANZ, H.; FRANK, T. Thermal simulation of buildings with double-skin facades. **Energy and Buildings**, v. 37, n. 11, p. 1114-1121, Nov 2005. ISSN 0378-7788..
- [7] MINGOTTI, N.; CHENVIDYAKARN, T.; WOODS, A. W. The fluid mechanics of the natural ventilation of a narrow-cavity double-skin facade. **Building and Environment**, v. 46, n. 4, p. 807-823, Apr 2011. ISSN 0360-1323..
- [8] PASQUAY, T. Natural ventilation in high-rise buildings with double facades, saving or waste of energy. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 4, p. 381-389, Apr 2004. ISSN 0378-7788.
- [9] PATANIA, F. et al. Thermofluid-dynamic analysis of ventilated facades. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 7, p. 1148-1155, Jul 2010. ISSN 0378-7788.
- [10] Código Técnico de la Edificación. Documento DB HS 3. Capítulo 2.